

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 46 094.2

Anmeldetag: 04. Oktober 2003

Anmelder/Inhaber: Heraeus Noblelight GmbH, Hanau/DE

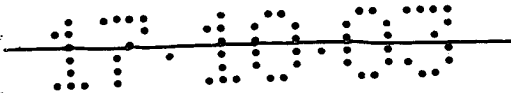
Bezeichnung: Infrarotstrahlerelement und dessen Verwendung

Priorität: 04. März 2003 DE 103 09 560.8

IPC: H 01 K 1/58

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 1. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Unser Zeichen: P10225 DE01
02. Oktober 2003

Patentanmeldung

Heraeus Noblelight GmbH

Infrarotstrahlerelement und dessen Verwendung

Patentansprüche

1. Infrarotstrahlerelement mit
 - mindestens einem Strahlerrohr aus Kieselglas, das zwei Enden aufweist,
 - mindestens einem im Strahlerrohr als Strahlungsquelle angeordneten elektrischen Leiter,
 - einem Kühlrohr aus Kieselglas, welches das mindestens eine Strahlerrohr derart beabstandet umgibt und an seinen Enden direkt mit diesem verbunden ist, so dass im Bereich des elektrischen Leiters zwischen dem mindestens einen Strahlerrohr und dem Kühlrohr mindestens ein durchströmbarer Kanal ausgebildet ist, und
 - mit einem metallischen Reflektor,dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (3) an seiner dem Strahlerrohr (2a, 2b) abgewandten Seite vollständig mit dem Reflektor (8) bedeckt ist.
2. Infrarotstrahlerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlerrohr (2a, 2b) an seinen beiden Enden gasdicht verschlossen ist, wobei an mindestens einem der beiden Enden eine gasdichte Stromdurchführung (5a, 5b) angeordnet ist.
3. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (3) coaxial zu dem mindestens einen Strahlerrohr (2a, 2b) angeordnet ist.
4. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (3) an seinem einen Ende einen Zuflusstutzen (9a) und an seinem anderen Ende einen Abflusstutzen (9b) aufweist.

17.10.03

2

5. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflektor (8) aus einer Goldschicht gebildet ist.
6. Infrarotstrahlerelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Goldschicht auf dem Kühlrohr (3) eingebrannt ist.
7. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 5 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflektor (8) auf seiner dem Kühlrohr (3) abgewandten Seite mit einer Schutzschicht bedeckt ist.
8. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in dem mindestens einen Kanal (3a) Elemente zur Beeinflussung der Strömung aus Kieselglas angeordnet sind.
9. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Kanal (3a) einen kreisringförmigen oder annähernd kreisringförmigen Querschnitt aufweist.
10. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Kanal (3a) spiralförmig entlang des mindestens einen Strahlerrohres (2a, 2b) verläuft.
11. Infrarotstrahlerelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (4a, 4b) aus Wolfram gebildet ist.

17.10.03

3

14. Verwendung eines Infrarotstrahlerelements nach einem der Ansprüche 1 bis 13 als Durchflussheizer für eine Flüssigkeit oder ein Gas, wobei die Flüssigkeit oder das Gas den mindestens einen Kanal (3a) zwischen Kühlrohr (3) und Strahlerrohr (2a, 2b) durchströmt und mittels der mindestens einen Strahlungsquelle erwärmt wird.
15. Verwendung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit hochreines Wasser nach ASTM D1193-99e1, Typ I ist.
16. Verwendung nach einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit hochreines Wasser nach ASTM D1193-99e1, Typ A ist.

17.10.03

Unser Zeichen: P10225 DE01
02. Oktober 2003

Patentanmeldung

Heraeus Noblelight GmbH

Infrarotstrahlerelement und dessen Verwendung

Die Erfindung betrifft ein Infrarotstrahlerelement mit

- mindestens einem Strahlerrohr aus Kieselglas, das zwei Enden aufweist,
- mindestens einem im Strahlerrohr als Strahlungsquelle angeordneten elektrischen Leiter,
- einem Kühlrohr aus Kieselglas, welches das mindestens eine Strahlerrohr derart beabstandet umgibt und an seinen Enden direkt mit diesem verbunden ist, so dass im Bereich des elektrischen Leiters mindestens ein durchströmbarer Kanal zwischen dem mindestens einen Strahlerrohr und dem Kühlrohr ausgebildet ist, und
- mit einem metallischen Reflektor.

Die Erfindung betrifft weiterhin die Verwendung eines solchen Infrarotstrahlerelements.

Eingangs genannte Infrarotstrahlerelemente sind aus der DE 10041564A1 bekannt. Hier ist ein kühlbares Infrarotstrahlerelement offenbart, wobei in Figuren 5a bis 6c von einem Kieselglas-Kühlrohr ummantelte, zweiseitig kontaktierte IR-Strahler gezeigt sind. Ein Kühlmittel zur Kühlung der IR-Strahler ist zur Durchströmung des Raums zwischen Kühlrohr und IR-Strahlern vorgesehen. Im Kühlrohr befindet sich neben den Strahlung abgebenden Bereichen der IR-Strahler auch ein Reflektor, der von einem Teil des Kühlmittels durchströmt werden kann, ohne dass IR-Strahlung auf diesen Teil des Kühlmittels einwirkt. Die IR-Strahlung, die von den IR-Strahlern abgegeben wird, gelangt entweder direkt durch das strahlungsdurchlässige Kühlmittel und das Kieselglas-Kühlrohr hindurch oder wird zuerst von dem Reflektor reflektiert und tritt dann den Weg durch das Kühlrohr hindurch an, bevor sie auf den zu behandelnden Körper trifft.

WO 98/31045 offenbart einen Erhitzer für hochreines, deionisiertes Wasser mit einem zylinderförmigen Heizelement, das zwischen zwei Rohren aus Quarzglas angeordnet ist. Innerhalb und außerhalb dieser Heizanordnung befindet sich jeweils ein weiteres Rohr aus Quarzglas, wobei ein erster und ein zweiter ringförmiger Strömungskanal für das zu erwärmende Wasser gebildet

wird. An den Stirnseiten der Rohre sind diese durch Endkappen aus Kunststoff verbunden. Das Wasser strömt vom ersten in den zweiten Strömungskanal, so dass es einmal innerhalb und einmal außerhalb des zylinderförmigen Hezelements entlang strömt. Die Erwärmung des Wassers erfolgt dabei durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung. Es herrscht eine laminare Strömung in den Strömungskanälen, um die Erosion der Rohre durch das Wasser gering zu halten. Dies führt allerdings auch dazu, dass der Wärmeaustausch wenig effektiv ist. Die Anordnung ist aufgrund der Vielzahl der benötigten Bauteile kompliziert, teuer und schwierig abzudichten. Die Endkappen, mit welchen die vier Rohre aus Quarzglas mit unterschiedlichen Durchmessern abgedichtet werden sollen, werden aus Kunststoff gebildet und kommen in direkten Kontakt zu dem zu erwärmenden Wasser. Nachteilig ist dies insbesondere, da Kunststoffe zu einer Kontamination des Wassers mit Bakterien führen können.

Die US 5,054,107 beschreibt eine Vorrichtung zur Erwärmung von Flüssigkeiten mittels Infrarotstrahlung. Dabei sind gasumspülte Infrarotstrahler, bestehend aus einem Heizleiter in einem Hüllrohr, zur Beheizung von hochreinem Wasser vorgesehen, welches ein Gefäß aus Quarzglas oder PTFE durchströmt. Das Gefäß kann dabei einen Reflektor aufweisen, der die von den Infrarotstrahlern abgegebene und nicht direkt vom Wasser absorbierte Strahlung in das Wasser zurückwirft. Ein direkter Kontakt zwischen der zu erwärmenden Flüssigkeit und dem Hüllrohr der Infrarotstrahler ist nicht vorgesehen, so dass die Erwärmung der Flüssigkeit allein durch Strahlung erfolgen muss und zudem eine Kühlung der Infrarotstrahler, des Gehäuses und des Reflektors erforderlich ist. Die zusätzliche Kühlung dieser Bauteile führt zu einem Wärmeverlust und kann eine Quelle für Kontamination der hochreinen Flüssigkeit darstellen. Da die Kühleffizienz bei der Kühlung der Infrarotstrahler schlecht ist, ist die Leistung dieses Wärmetauschers begrenzt. Als bevorzugte Wellenlänge, die die Infrarotstrahler abgeben sollen, ist die der maximalen Absorption von Wasser bei $3\mu\text{m}$ offenbart. Infrarotstrahlung dieser Wellenlänge kann jedoch nicht weit in das Wasser eindringen und führt zu einer ungleichmäßigen Erwärmung.

Es stellt sich damit die Aufgabe, ein Infrarotstrahlerelement bereitzustellen, das bei einfacherer Bauweise zu einer effizienteren Erwärmung von Flüssigkeiten oder Gasen geeignet ist.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass das Kühlrohr an seiner dem Strahlerrohr abgewandten Seite vollständig mit dem Reflektor bedeckt ist. Eine derartige Anordnung des Reflektors verhindert einen Austritt von Strahlung durch das Kühlrohr. Vielmehr wird aufgrund der Mehrfachreflektion der nicht von der Flüssigkeit absorbierten IR-Strahlung am Reflektor eine sehr große Weglänge der IR-Strahlung in der Flüssigkeit erreicht, wodurch auch Strahlung aus Wellenlän-



genbereichen geringerer Absorptionsstärke von der Flüssigkeit effektiv absorbiert wird. Dies führt zu einer schnellen Aufheizung der Flüssigkeit mit hohem Wirkungsgrad. Gleichzeitig wird das Strahlerrohr durch den direkten Kontakt mit der Flüssigkeit intensiv gekühlt und vor Überhitzung geschützt. Die Flüssigkeit wird demnach nicht nur mittels Wärmestrahlung, sondern auch durch Wärmeleitung und Konvektion effektiv erwärmt.

Es hat sich bewährt, wenn das Strahlerrohr an seinen beiden Enden gasdicht verschlossen ist, wobei an mindestens einem der beiden Enden eine gasdichte Stromdurchführung zum Anschluss des elektrischen Leiters angeordnet ist. Eine solche Ausführungsform ist insbesondere für kurzwellige Strahlungsquellen beziehungsweise Strahlungsquellen aus Carbon-Material geeignet. Wird eine mittelwellige Strahlungsquelle verwendet, so kann das Strahlerrohr an seinen beiden Enden auch offen sein.

Um hohe Leistungen zu realisieren hat es sich bewährt, zwei elektrische Leiter in zwei benachbarten Strahlerrohren – einem sogenannten Zwillingsrohr - im Kühlrohr einzusetzen.

Besonders hat es sich dabei bewährt, wenn das Kühlrohr coaxial zu dem mindestens einen Strahlerrohr angeordnet ist. Eine solche Anordnung gewährleistet eine allseitig gleichmäßige Kühlung der Strahlerrohre beziehungsweise ein gleichmäßiges Erwärmen einer durch das Kühlrohr geführten Flüssigkeit.

Zur sauberen Zu- und Abführung einer durch das Kühlrohr zu führenden Flüssigkeit ist es von Vorteil, wenn das Kühlrohr an seinem einen Ende einen Zuflusstutzen und an seinem anderen Ende einen Abflusstutzen aufweist.

die Goldschicht auf dem Kühlrohr eingebrannt ist.

Der Reflektor kann weiterhin auf seiner dem Kühlrohr abgewandten Seite mit einer Schutzschicht bedeckt sein. So ist es insbesondere beim Einsatz einer Goldschicht als Reflektor sinnvoll, diese vor mechanischer Beschädigung zu schützen. Dazu eignen sich beispielsweise kratzfeste Schutzschichten aus Glas, Aluminiumoxid oder Zirkonoxid. Wird das Kühlrohr mit hohem Druck beaufschlagt, so kann es vorteilhaft sein, das Rohr in einen hochreißfesten Kunststoffschlauch als Schutzschicht einzubetten. Ein solcher verhindert eine Verletzungsfahr, falls es zum Bruch des Kühlrohres kommt.

Um im Kühlrohr eine optimale Strömungsverteilung einzustellen kann es vorteilhaft sein, in dem mindestens einen Kanal Elemente zur Beeinflussung der Strömung aus Kieselglas anzuordnen.

Es hat sich bewährt, wenn der mindestens eine Kanal einen kreisringförmigen oder annähernd kreisringförmigen Querschnitt aufweist. Ein solcher Kanal gewährleistet eine weitgehend symmetrische Wärmeverteilung vom Strahlerrohr auf eine das Kühlrohr durchströmende Flüssigkeit.

Es ist aber auch von Vorteil, dass der mindestens eine Kanal spiralförmig entlang des mindestens einen Strahlerrohres verläuft. Dadurch kann die Verweilzeit einer das Kühlrohr durchströmenden Flüssigkeit im Bereich des mindestens einen IR-Strahlers verlängert und die erreichbare Temperatur der Flüssigkeit noch erhöht werden.

Als Material für den elektrischen Leiter hat sich Wolfram oder ein Carbon-Material bewährt.

Sollen hohe Leistungen eingekoppelt werden, so hat es sich bewährt, den elektrischen Leiter aus Wolfram oder einem Carbon-Material in einem beidseitig verschlossenen und mit inertem Füllgas gefüllten oder evakuierten Strahlerrohr einzusetzen. Prinzipiell ist aber jeder Infrarot-Strahler verwendbar. So können beispielsweise elektrische Leiter eingesetzt werden, die aus einer Legierung aus Eisen, Aluminium und Chrom oder aus einer Nickel – Chrom – Legierung gebildet sind. Derartige elektrische Leiter können ohne weiteres in einem beidseitig offenen Strahlerrohr und somit an Luft eingesetzt werden.

Falls Wasser als Flüssigkeit im Kühlrohr erwärmt werden soll, ist es im Hinblick auf das Infrarot-Absorptionsverhalten von Wasser bevorzugt, kurzwellige Strahler mit einem Hauptanteil der Strahlung bei Wellenlängen im Bereich von 1,3 bis 1,8 μm einzusetzen. Eine gute und gleichmäßige Durchwärmung des Wassers wird bei einer Schichtdicke von wenigen Millimetern besonders in diesem Wellenlängenbereich erreicht (siehe Figur 4). Sollen dickere Wasser-

schichten erwärmt werden, so hat es sich bewährt, einen Strahler mit einem Hauptanteil der Strahlung bei Wellenlängen im Bereich von 0,9 bis 1,4 μm einzusetzen (siehe Figur 5). Wird im Kühlrohr für eine ausreichend turbulente Strömung gesorgt, so kann für die Erwärmung von Wasser aber auch längerwellige Strahlung eingesetzt werden.

Dabei hat es sich insbesondere bewährt, wenn der im Strahlerrohr angeordnete elektrische Leiter bei Temperaturen im Bereich von 2400K bis 2600K betrieben wird. Neben der guten, homogenen Durchwärmung des Wassers im Kühlrohr wird dadurch außerdem eine hohe Lebensdauer des Infrarotstrahlerelements erreicht. Prinzipiell ist aber der Einsatz eines elektrischen Leiters mit einer höheren Temperatur wünschenswert (siehe Figur 5).

Für andere zu erwärmende Flüssigkeiten oder Gase sind die optimalen Strahleremissionen gesondert zu ermitteln.

Eine Verwendung des erfindungsgemäßen Infrarotstrahlerelements als Durchflussheizer für eine insbesondere hochreine Flüssigkeit, insbesondere für hoch- oder höchstreines Wasser, oder Gase ist ideal. Unter einem hoch- oder höchstreinem Wasser wird hier ein solches verstanden, das den Vorgaben der ASTM D1193-99E1, Typ I (chem. Verunreinigungen) und/oder Typ A (mikrobiologische Kontamination) entspricht. Dabei durchströmt die Flüssigkeit oder das Gas den mindestens einen Kanal zwischen Kühlrohr und Strahlerrohr und wird mittels der mindestens einen Strahlungsquelle erwärmt. Dabei sollte die Strömung von Flüssigkeiten im Kühlrohr bei hohen Leistungen der eingesetzten IR-Strahler vorzugsweise turbulent sein, um einen ausreichenden Wärmeabtransport vom Strahlerrohr über Konvektion zu gewährleisten und ein Sieden der Flüssigkeit am Strahlerrohr zu verhindern. Das Infrarotstrahlerelement benötigt neben der zu erwärmenden Flüssigkeit keine zusätzlich Kühlung. Dadurch ist die Bauweise des Durchflussheizers kompakt, er ist mit geringem Fertigungsaufwand herstellbar und weist eine äußerst geringe Störanfälligkeit auf. Gleichzeitig weist ein derartiger Durchflussheizer aber einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe Leistung auf und ist durch seine simple Bauweise einfach zu warten oder auszutauschen.

Die zu erwärmende hochreine Flüssigkeit oder das Gas gelangt im Durchflussheizer ausschließlich in Kontakt zu dem Kühlrohr aus Kieselglas und dem Strahlerrohr aus Kieselglas. Es ist bekannt, dass es bei einem Kontakt von Kieselglas und Flüssigkeiten oder Gasen nur zu einer äußerst geringen Kontamination der Flüssigkeit oder des Gases kommt. Ein Kontakt zu Kunststoffen oder gar Metallen, die die Flüssigkeit deutlich stärker kontaminieren, wird vermieden.

Die Figuren 1 bis 3 sollen das erfindungsgemäße Infrarotstrahlerelement beispielhaft erläutern.

Die Figuren 4 bis 7 zeigen Diagramme zu durchgeführten Messungen. So zeigt:

- Figur 1 einen Längsschnitt durch ein Infrarotstrahlerelement mit zwei Strahlerrohren (Zwillingsrohr) im Kühlrohr
- Figur 1a den Querschnitt A-A' des Infrarotstrahlerelements aus Figur 1
- Figur 2 den Querschnitt B-B' eines Infrarotstrahlerelements mit zwei Strahlerrohren (Zwillingsrohr) im Kühlrohr
- Figur 2a einen Längsschnitt durch das Infrarotstrahlerelement aus Figur 2
- Figur 3 einen Längsschnitt durch ein Infrarotstrahlerelement mit einem Strahlerrohr im Kühlrohr
- Figur 4 die Eindringtiefe von Strahlung in Wasser bei unterschiedlichen Wellenlängen
- Figur 5 die abgestrahlte Leistung (normiert auf die Gesamtabstrahlungsleistung) eines elektrischen Leiters aus Wolframdraht in Abhängigkeit von der Wellenlänge
- Figur 6 die im Strahlerrohr absorbierte Strahlung in Abhängigkeit von der Temperatur eines elektrischen Leiters aus Wolframdraht
- Figur 7 die Temperaturänderung von Wasser in Abhängigkeit von der Durchflussmenge

Figur 1 zeigt den Längsschnitt eines Infrarotstrahlerelements 1 mit zwei Strahlerrohren 2a, 2b beziehungsweise einem Zwillingsrohr im Kühlrohr 3. Sowohl die Strahlerrohre 2a, 2b als auch das Kühlrohr 3 sind aus Kieselglas gebildet. In den Strahlerrohren 2a, 2b sind elektrische Leiter 4a, 4b in Form von Wolframwendeln angeordnet. Die elektrischen Leiter 4a, 4b sind elektrisch mittels Anschlussdrähten 6a, 6b, 6c, 6d kontaktiert, wobei die Anschlussdrähte 6a, 6b, 6c, 6d über die Stromdurchführungen 5a, 5b gasdicht durch die Strahlerrohre 2a, 2b geführt sind. Das Kühlrohr weist einen Kühlkanal 3a (siehe Fig. 1a) auf, der die Strahlerrohre 2a, 2b umgibt. Weiterhin sind am Kühlrohr 3 Anschlussstutzen 9a, 9b aus Kieselglas vorhanden, die die Zu- und Abführung einer Flüssigkeit in den und aus dem Kühlkanal 3a ermöglichen. Auf der dem Kühlkanal 3a abgewandten Oberfläche des Kühlrohres 3 ist eine Reflektorschicht 8 aus Gold angeordnet.

Figur 1a zeigt den Querschnitt A-A' des Infrarotstrahlerelements aus Figur 1, insbesondere die Anordnung des Kühlkanals 3a.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird durch das Infrarotstrahlerelement gemäß Figuren 1 und 1a eine elektrische Leistung von 6kW eingebracht. Diese wird mittels zwei, in einem Zwillingsrohr

17.10.03

7

lingsrohr angeordneten elektrischen Leitern, gebildet aus Wolframwendeln, die mit einer Emissionstemperatur von 2600K arbeiten, erzeugt. Der Wirkungsgrad (aufgewendete elektrische Leistung zu Heizleistung) einer solchen Anordnung ist mit > 95% hoch, nachdem nur wenige Bereiche vorhanden sind, in welchen Leistungsverluste auftreten können. Die volle Leistung des Infrarotstrahlerelements ist je nach Durchfluss innerhalb von 10s bis hin zu 2min erreicht, nachdem die volle Leistung der Strahlungsquelle bereits nach 1 bis 2s erreicht ist.

Figur 2 zeigt den Längsschnitt eines Infrarotstrahlerelements 1 mit zwei Strahlerrohren 2a, 2b beziehungsweise einem Zwillingsrohr im Kühlrohr 3. Sowohl die Strahlerrohre 2a, 2b als auch das Kühlrohr 3 sind aus Kieselglas gebildet. In den Strahlerrohren 2a, 2b sind elektrische Leiter 4a, 4b in Form von Carbon-Bändern angeordnet. Die elektrischen Leiter 4a, 4b sind mittels Federn 10a, 10b gespannt und der elektrische Anschluss über die Stromdurchführungen 5a, 5b gasdicht durch die Strahlerrohre 2a, 2b nach außen geführt. Das Kühlrohr 3 weist einen Kühlkanal 3a (siehe Fig. 2a) auf, der die Strahlerrohre 2a, 2b umgibt. Weiterhin sind am Kühlrohr 3 Anschlussstutzen 9a, 9b aus Kieselglas vorhanden, die die Zu- und Abführung einer Flüssigkeit in den und aus dem Kühlkanal 3a ermöglichen. Auf der dem Kühlkanal 3a abgewandten Oberfläche des Kühlrohres 3 ist eine Reflektorschicht 8 aus Gold angeordnet.

Figur 2a zeigt den Querschnitt B-B' des Infrarotstrahlerelements 1 aus Figur 1, insbesondere die Anordnung des Kühlkanals 3a.

Figur 3 zeigt den Längsschnitt eines Infrarotstrahlerelements 1 mit einem Strahlerrohr 2a im Kühlrohr 3. Sowohl das Strahlerrohr 2a als auch das Kühlrohr 3 sind aus Kieselglas gebildet. Im Strahlerrohr 2a ist ein elektrischer Leiter 4a in Form eines Carbon-Bandes angeordnet. Der elektrische Anschluss über die

Figur 4 zeigt ein Diagramm, in welchem die Eindringtiefe X von Strahlung in Wasser in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ der Strahlung dargestellt ist. Dabei zeigen die Kurven den prozentualen Anteil der Strahlung, die im Wasser absorbiert wird. Für Wasserschichten mit wenigen Millimeter Dicke ergibt sich daraus, dass Wellenlängen im Bereich von 1300 bis 1800 nm im Hinblick auf eine gleichmäßige Durchwärmung zu bevorzugen sind. Für Wasserschichten mit einigen Zentimetern Dicke sind dagegen Wellenlängen im Bereich von 900 bis 1400 nm vorteilhafter.

Figur 5 zeigt die abgestrahlte Leistung L_n eines elektrischen Leiters aus Wolframdraht in einem ca. 2 mm dicken Kieselglasrohr in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ , normiert auf die Gesamtleistung. Die dargestellten Kurven geben dabei die Temperatur des elektrischen Leiters an. Es ist erkennbar, dass bei niedrigen Temperaturen des elektrischen Leiters im Bereich von 1600 bis 2200 K ein eher breitbandiges, mittelwelliges Spektrum erreicht wird. Derartige Spektren erreichen nur mit ihrem kurzwelligen Anteil ausreichende Eindringtiefen in Wasser. Bei Temperaturen des elektrischen Leiters im Bereich von 2600 bis 2800 K dominiert der Anteil der Strahlung, der sehr weite Strecken im Wasser zurücklegen muss, um absorbiert zu werden. Es werden somit Temperaturen für den elektrischen Leiters aus Wolfram im Bereich von 2400 bis 2600 K bevorzugt.

Dass prinzipiell aber der Einsatz eines elektrischen Leiters mit einer möglichst hohen Temperatur wünschenswert ist, zeigt Figur 6. Der Anteil V_{SR} der im Strahlerrohr absorbierten Strahlung ist hier in Abhängigkeit von der Temperatur T_{eL} eines elektrischen Leiters aus Wolframdraht dargestellt. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Temperatur des elektrischen Leiters der Verlust an Strahlung, die im Strahlerrohr aus Kieselglas absorbiert wird, sinkt.

Figur 7 zeigt die Temperaturänderung ΔT_{H_2O} von Wasser mit einer Eingangstemperatur von 20°C in Abhängigkeit von der Durchflussmenge Q durch einen erfindungsgemäßen Durchflussheizer, wobei Leistungen für den Strahler im Bereich von 6000 W, 12000 W und 18000 W gewählt wurden. Die Messpunkte M zeigen gemessene Werte bei einer Strahlerleistung von 6000 W, die die Richtigkeit der berechneten Kurven bestätigen.

Ein weitere Temperaturerhöhung des Wassers kann entweder durch eine hohe Verweildauer der zu erwärmenden Flüssigkeit in dem erfindungsgemäßen Durchflussheizer oder durch eine Reihenschaltung mehrerer erfindungsgemäßer Durchflussheizer erreicht werden. Vorsicht ist bei einem parallelen Betrieb von Durchflussheizern geboten, da hier die Strömungsgeschwin-

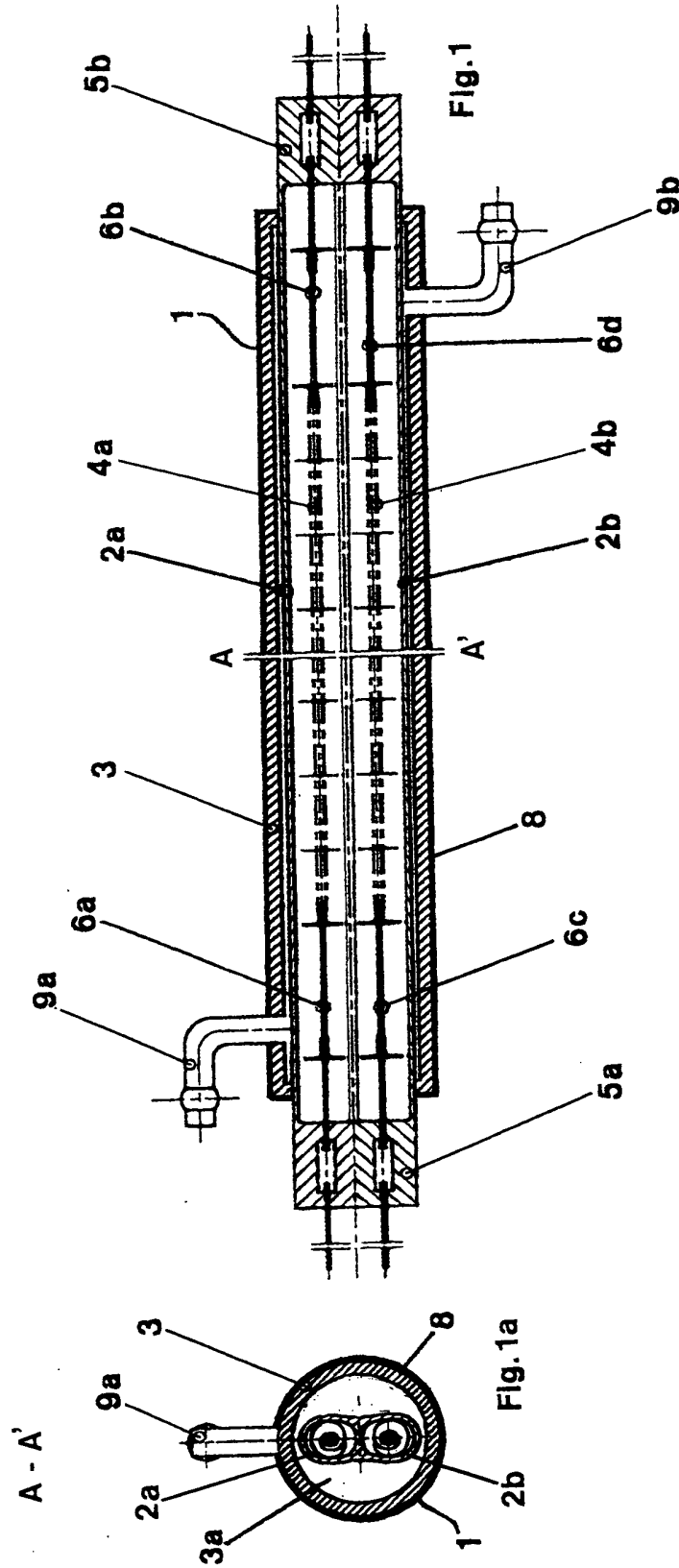
17.10.03

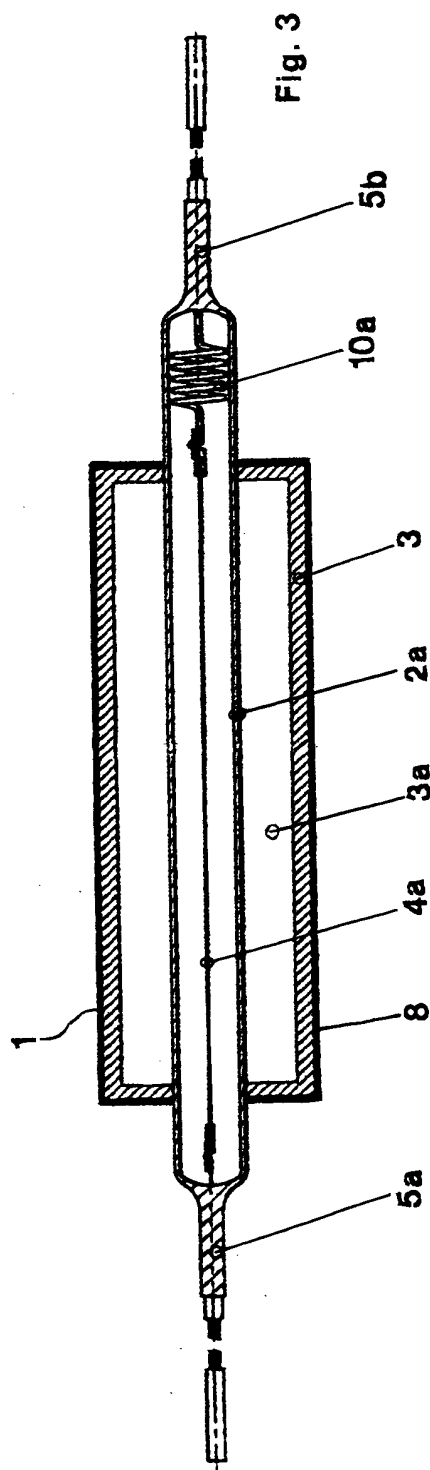
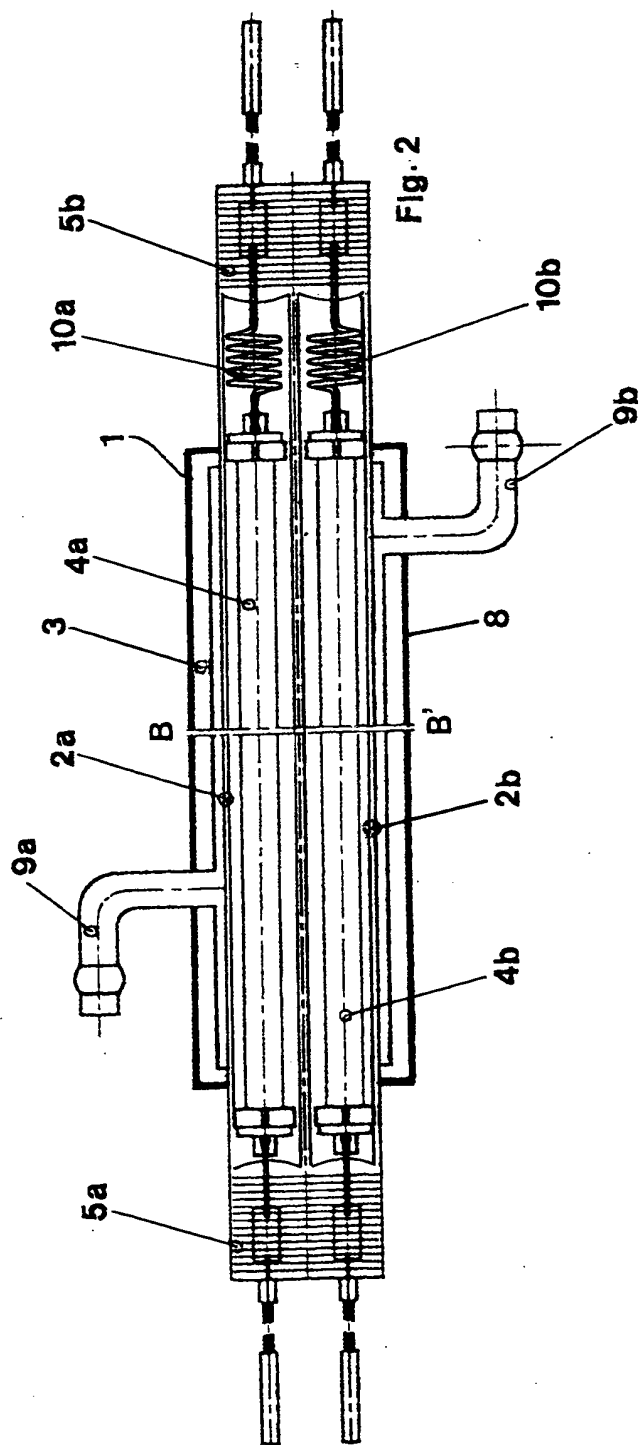
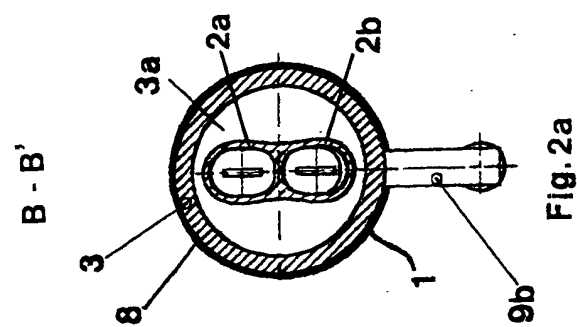
9

digkeit so weit vermindert sein kann, dass die Gefahr einer zu starken Erhitzung des Wassers und somit einer Blasenbildung besteht.

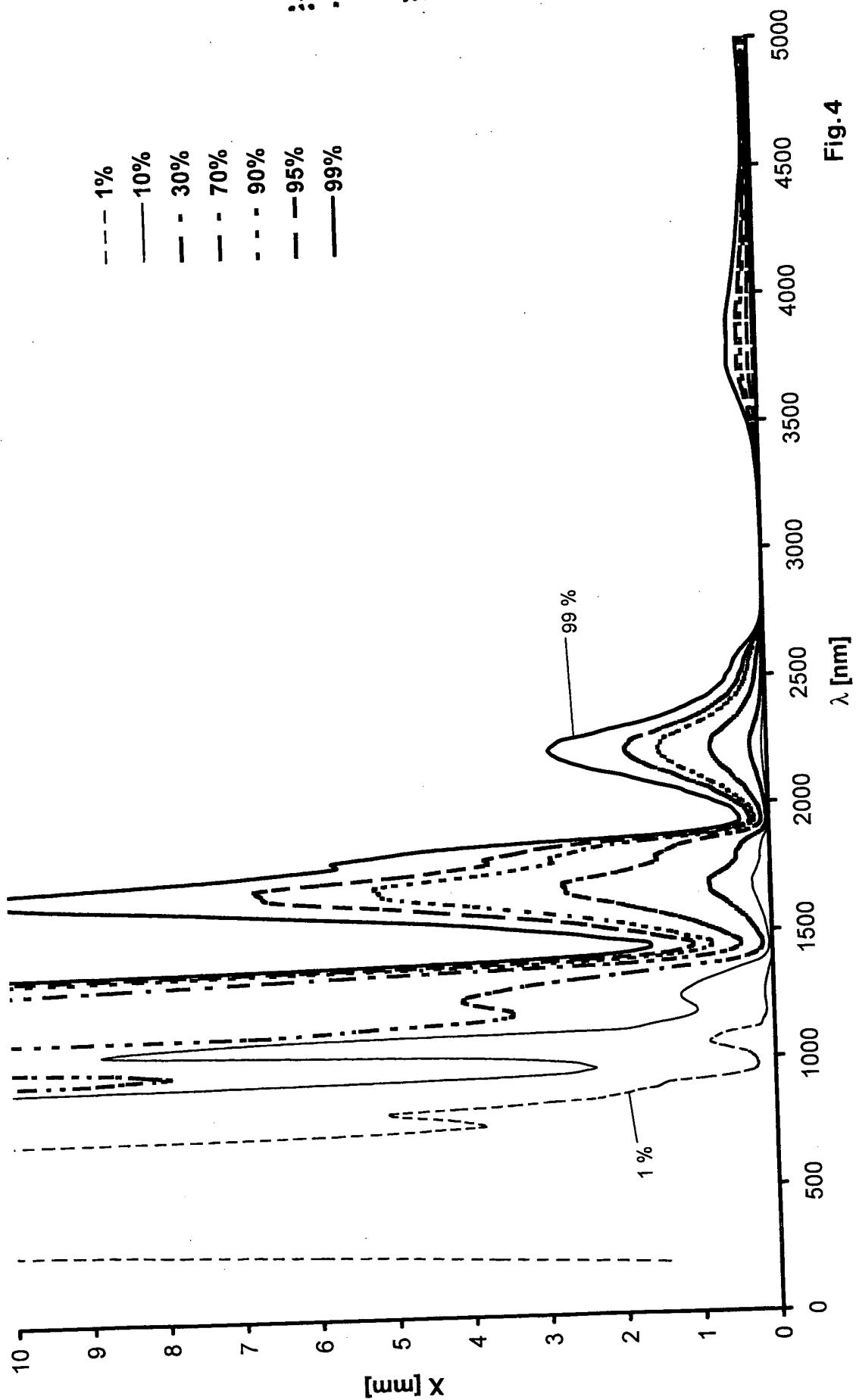


17,10,00





17.10.03



17.10.03

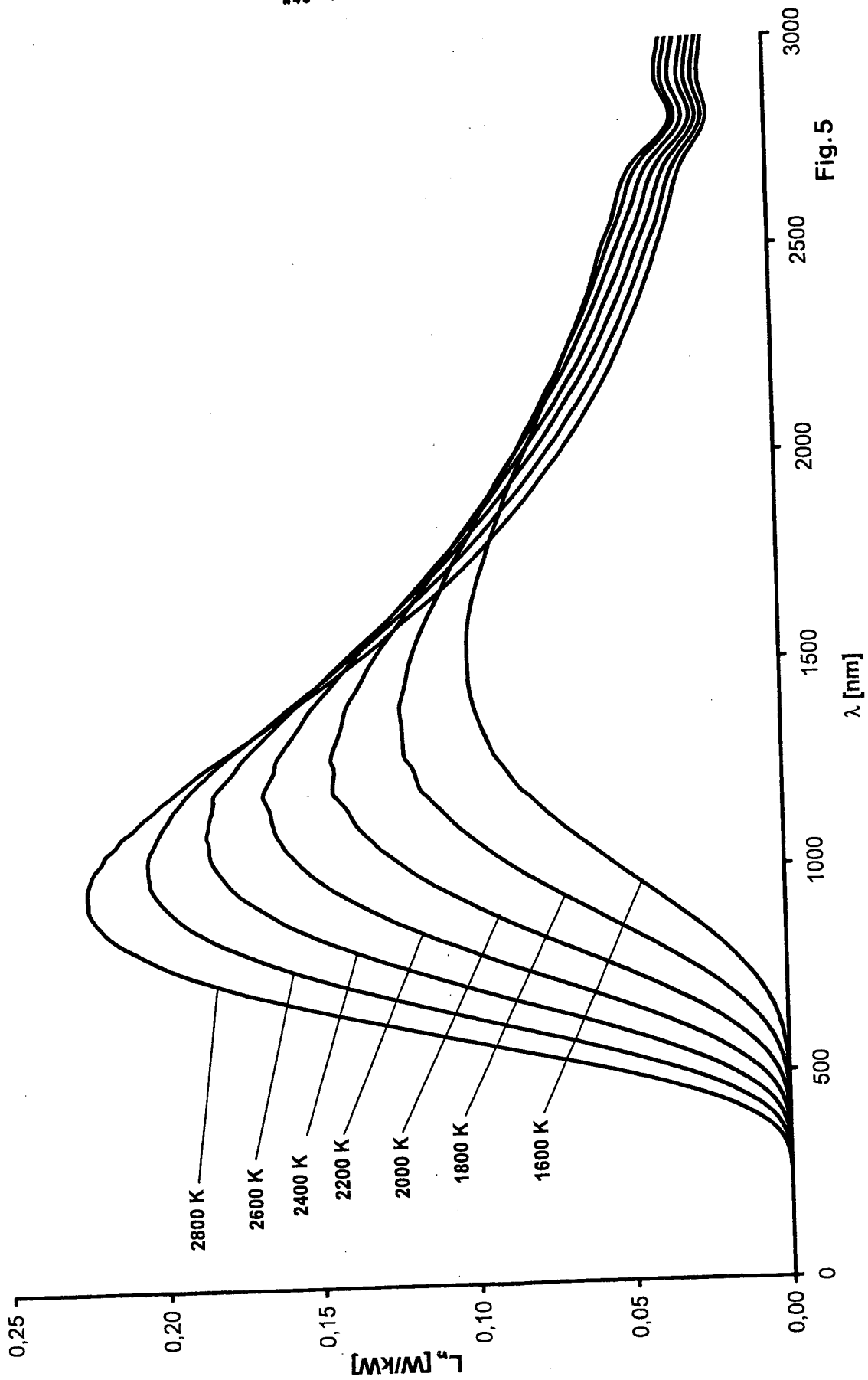


Fig.5

17.10.03

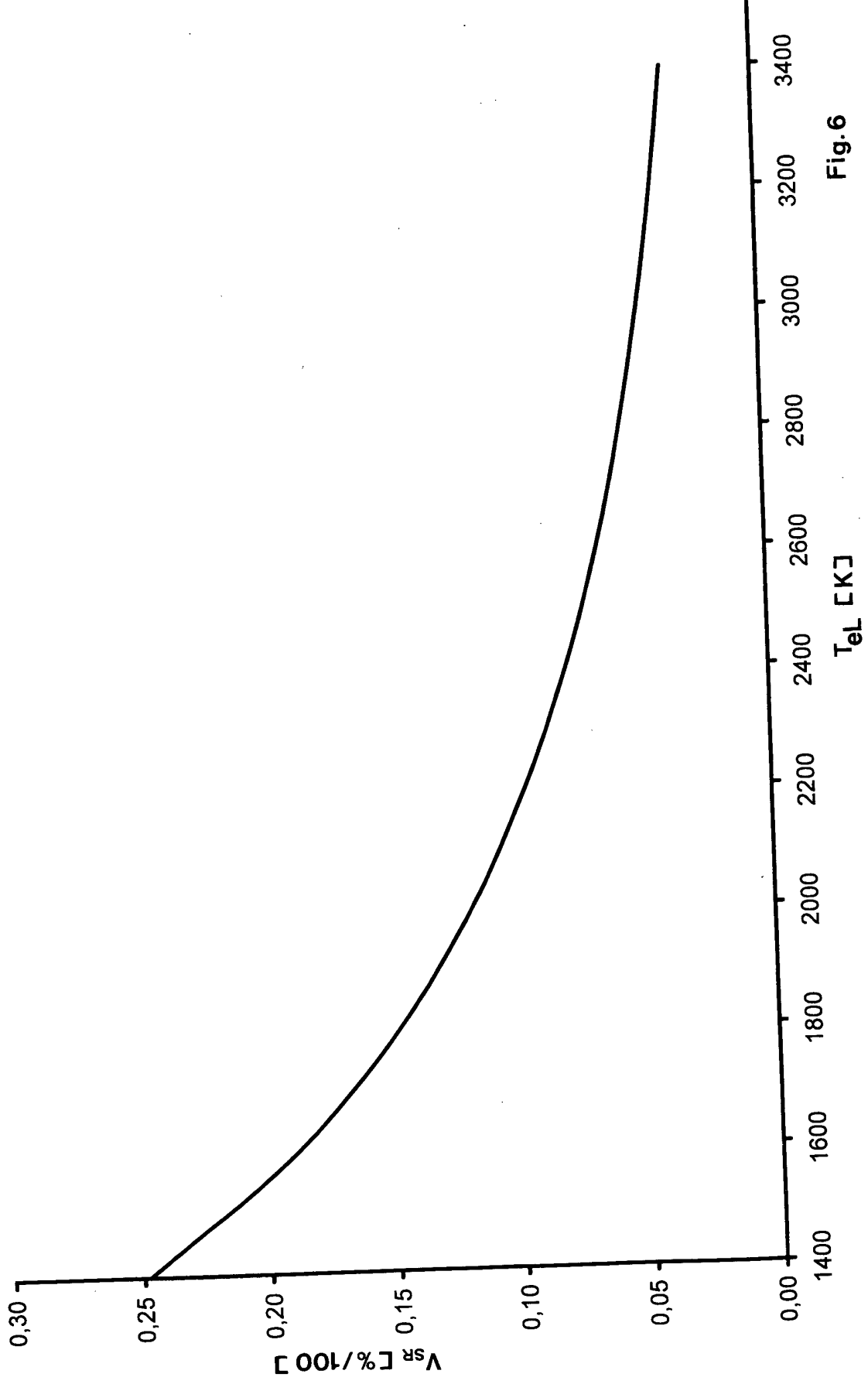


Fig.6

